

Bezprzewodowy podłuchiwacz nietoperzy, część 1

Opisany w artykule układ pozwala wykorzystać tranzystorowe radio AM do odbioru sygnałów z tajemniczego świata nietoperzy. Dzięki zastosowaniu jako mieszacza częstotliwości nowoczesnego układu scalonego (NE602), konstrukcja urządzenia jest bardzo przejrzysta i łatwa w uruchomieniu.

Przetwornik ten przetwarza ultradźwiękowe głosy nietoperzy na radiowe sygnały średniofalowe, dające się odbierać przy pomocy przenośnego radioodbiornika AM. Pomiedzy odbiornikiem a przetwornikiem nie jest potrzebne żadne połączenie elektryczne.

Głównym celem odbioru dźwięków, mieszczących się powyżej pasma audio, jest słuchanie nietoperzy, ale detektor ultradźwięków ma wiele innych jeszcze zastosowań i może odświetlić świat dźwięków dla ludzi normalnie niedostępnych. Brzękowi monet czy kluczy w kieszeni towarzyszy zaskakująca ilość ultradźwięków.

Darcie papieru i szum pieniącej się lemoniady są ich trywialnymi źródłami. Istnieją jednak również poważniejsze, przemysłowe zastosowania tych detektorów, jak rozpoznawanie stopnia zużycia maszyn, czy poszukiwanie miejsc przecieków rurociągów. Ultradźwięki mają także mniej znane zastosowania, jak badanie skuteczności środków zmiękczających tkaniny lub papier przez pomiar natężenia ultradźwięków wydzielanych podczas ich ściskania lub gięcia.

Dźwięki wydawane przez nietoperze, po odebraniu i przetworzeniu na sygnały elektryczne, mieszczą się w widmie częstotliwości od 15kHz do około 110kHz. Radioodbiorniki nie odbierają tak niskich częstotliwości radiowych, jest więc potrzebny konwerter. Z punktu widzenia techniki odbiorczej pasmo 100kHz jest stosunkowo wąskie i łatwo zmieści się w jakimś cichym kąciuku pasma średniofalowego. Niniejszy przetwornik umieszcza „nietoperzowe pasmo” w pobliżu 1MHz, niedaleko środka skali. Radioodbiornik wykonuje większość roboty przyczyniając się do znacznego uproszczenia i potanienia układu.

Na przenośnym odbiorniku autora zakres nietoperzowy zajmuje zaledwie 0,5cm skali, drobna regulacja pokrywa więc cały jego zakres. Podczas poszukiwań w tak wąskim pasmie mechanizm strojenia nie zużyje się, a palce nie zmęczą. Nietoperze są w tym wypadku pomocne, ćwierkają bowiem w dość szerokim pasmie częstotliwości.

W detektorze pasma nietoperzowego wykorzystano transduktor ultradźwiękowy 40kHz, typu stosowanego w systemach alarmowych i zdalnego sterowania. Dlatego jego czułość jest najwyższa przy 40kHz.

W podstawowym układzie sygnał podlega detekcji obwiedniowej, tak jakby to był sygnał o modulowanej amplitudzie AM. Można do niego później dołączyć oscylator dudnieniowy. Wywołuje on ciekawy efekt dodając do dźwięku „koloru”. Sygnały niektórych nietoperzy będą wtedy słyszane jako serie ćwierknięć lub trzasków o wysokich tonach, a nie w postaci dźwięków niskiej częstotliwości.

Ze względu na prostotę, małe wymiary, a także dla zabawy, wybrano konstrukcję SMD (montażu powierzchniowego). Zmontowana płytką drukowaną przetwornika jest na tyle mała, że zmieści się wewnątrz większości przenośnych radioodbiorników. Osobna bateria nie byłaby wówczas potrzebna, trzeba byłoby za to zainstalować wyłącznik itp. Wszystkie podzespoły SMD są dostępne w handlu, a sposób ich montaż został opisany.

Pasma „nietoperzowe“

Za granice pasma nietoperzowego na całym świecie można przyjąć 12kHz i 150kHz ale różnią się ono nieco, zależnie od gatunku. Od dolnej strony zachodzi na pasmo ludzkie. Głosy niektórych

nietoperzy mogą być słyszalne jako piskliwe wysokotonowe skrzywienie, ale przeważnie są dla nas niesłyszalne. Stała częstotliwość dźwięku podkowca małego wynosi około 110kHz, podkowca dużego (w Polsce rzadko spotykanego) około 85kHz, a długość impulsów w przybliżeniu 20ms. Głos gacków charakteryzuje się częstotliwością obniżającą się do około 80kHz.

Zaobserwowano, że liczba impulsów w sekundzie i czas ich trwania zmieniają się, przy czym wyodrębniono trzy fazy: poszukiwania, zbliżania się i zakończenia. Gdy nietoperz poszukuje, lokalizuje i chwytą swoją zdobycz, następuje przyspieszenie wysyłania impulsów. Gęstość ich wysyłania wzrasta, częstotliwość szybciej obniża się a długość się skraca. W czasie trwania jednego impulsu częstotliwość spada do połowy albo jednej trzeciej początkowej wielkości. Na przykład od 80kHz do 40kHz, czy 35kHz.

Gacki wielkouche w normalnym locie wysyłają mniej więcej 10 do 35 impulsów na sekundę, ale w fazie lokalizacji gęstość ta może nagle wzrosnąć do ponad 100. Ich impulsy są tak krótkie, że z detektora-odbiornika będzie raczej słyszeć trzaski i stuki niż gwizdy.

Opis układu

Zespoły funkcjonalne przetworznika pasma są przedstawione na schemacie blokowym na rys. 1. Składowa audio sygnału z transduktora ultradźwięków zostaje stłumiona w prostym filtrze we-

jęciowym. Sygnał ultradźwiękowy natomiast jest wzmacniany i wprowadzany do mieszacza, w którym zachodzi mieszanie z sygnałem oscylatora lokalnego 1MHz. Powstałe w mieszaczu częstotliwości, sumacyjna i różnicowa, są nadawane przez strojony obwód rezonansowy z cewką na pręcie ferrytowym, będącym anteną nadawczą. Oczywiście, do odbioru tych sygnałów konieczny jest radioodbiornik średniofalowy z anteną ferrytową. W ten sposób pasmo „nietoperzowe” zostaje umieszczone na skali odbiornika w dwóch miejscach. Jest to całkiem wygodne, zawsze można bowiem wybrać „cichszą” z dwóch pozycji zakresu. Niższe częstotliwości nietoperzy mieszczą się bliżej częstotliwości oscylatora 1MHz, punkt odbioru której jest użytecznym wskaźnikiem. Odstrajanie się od niego w lewo lub w prawo oznacza wzrost częstotliwości odbieranych sygnałów ultradźwiękowych. Niższe pasmo (różnicowe) jest przetworzone w taki sposób, że przestrajanie odbiornika w stronę niższych częstotliwości oznacza wzrost częstotliwości odbieranych sygnałów ultradźwiękowych. Niższe pasmo (różnicowe) jest przetworzone w taki sposób, że przestrajanie odbiornika w stronę niższych częstotliwości oznacza wzrost częstotliwości odbieranych sygnałów ultradźwiękowych.

Przełożyliśmy radioodbiornik zapewni dobre wzmocnienie i filtrację oraz możliwość przestrajania w granicach całego pasma nietoperzowego. Odbiornik umożliwia także detekcję obwiedniową (lub iloczynową), automatyczną regulację wzmocnienia (ARW) i wreszcie wzmacniacz mocy doysterowania głośnika lub słuchawek.

Nietoperze

Nietoperze są ważną grupą zwierząt, reprezentującą około jednej czwartej wszystkich ssaków. W skali światowej liczą 19 rodzin i około 950 różnych gatunków. W Polsce spotyka się dwa gatunki z rodziny podkowcowatych i 19 z rodziny mroczkowatych.

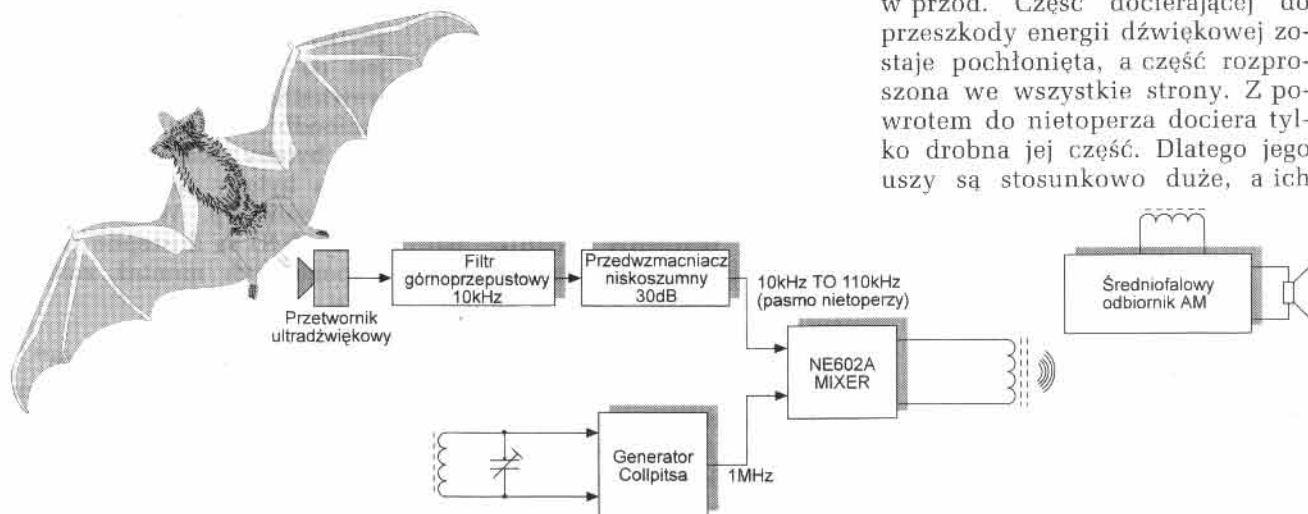
Ich naukowa nazwa - chiroptera (rękoskrzydłe) - wywodzi się z faktu, że skrzydła nietoperzy powstały drogą ewolucyjną z dłoni z błonami rozciągniętymi pomiędzy wydłużonymi palcami. Kciuk jest wyraźnie widoczny na przedniej krawędzi skrzydła.

Nietoperze naszej strefy klimatycznej żywią się chwytanymi w locie owadami, do poszukiwania których i do orientacji wśród przeszkód w locie używają echolokacji ultradźwiękowej. Polega ona na emisji krótkich impulsów ultradźwiękowych, których echa odbite od przeszkód są słuchane i interpretowane w przerwach pomiędzy impulsami.

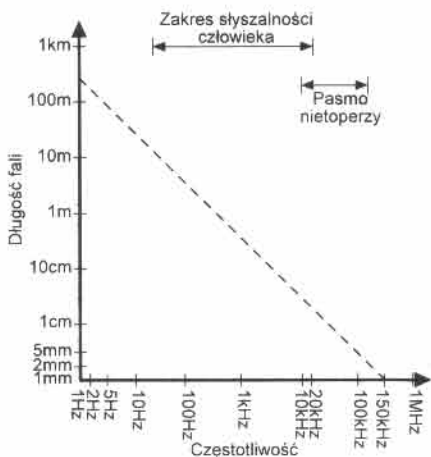
Nietoperze podkowcowate wysyłają ultradźwięki ze specjalnie ukształtowanego nosa, który kształtem przypomina świniński ryj. U mroczkowatych ultradźwięki wydobywają się z gardła, a ich pyszczek jest podobny do psiego. Nietoperze spotykane w Polsce, od najmniejszych karlików do największych borowców, zestawiono w tab.1. Podkowce używają częstotliwości stałej, a mroczkowate niższej i zmiennej.

Ultradźwięki

Nietoperze wysyłają ultradźwięki w stożkowej wiązce w przód. Część docierającej do przeszkody energii dźwiękowej zostaje pochłonięta, a część rozproszona we wszystkie strony. Z powrotem do nietoperza dociera tylko drobna jej część. Dlatego jego uszy są stosunkowo duże, a ich



Rys. 1. Schemat blokowy układu.



Rys. 2. Zależność długości fali od częstotliwości sygnału.

wewnętrzny mechanizm bardzo czuły w zakresie wysokich częstotliwości i rozdzielczości przestrzennej.

Do lokalizacji, identyfikacji i chwytania bardzo małych owadów jest wymagana mała długość fali dźwiękowej. Na przykład karliki potrafią w ciągu ułamka sekundy zlokalizować w locie i pochwytać maleńką muszkę owocową. Połów jednego wieczora może przekraczać 500 owadów.

Nietoperze potrafią wykorzystywać wszystkie zawarte w echu informacje, charakteryzujące ofiary i przeszkody, jak dopplerowskie, związane z przesunięciem fazy i z zawartością harmoniczną. Długość fali dźwiękowej w powietrzu w zależności od częstotliwości przedstawia załączony wykres. Opiera się on na powszechnie przyjętej szybkości dźwięku w powietrzu, 344m/s. Widać, że najczęściej używana przez nietoperze częstotliwość odpowiada fali o długości kilku milimetrów, zbliżonej do wymiarów ich ofiar.

Nietoperze, które zjadają ogromne ilości owadów, podlegają w Polsce całkowitej ochronie. Nie wolno ich zabijać, chwytac, więzić, ani niepokoić podczas zimowego snu. Do ich badania, obrączkowania i fotografowania w celach naukowych mogą zostać upoważnione tylko osoby o odpowiednich kwalifikacjach. Fotografowanie ich w locie (bez flesza) nie jest oczywiście zabronione.

Detekcja obwiedniowa

Wynik detekcji obwiedniowej jest pokazany na rys. 3. Jeżeli została odebrana seria impulsów

np. 50kHz, o czasie trwania np. 20ms, to każdemu impulsowi odpowiada 20ms obwiednia. Jeżeli w ciągu sekundy zostało odebranych 20 takich impulsów, to przez radio usłyszy się brzęczenie o częstotliwości 20Hz. Podobnie, skutkiem odebrania serii zakłóceń ultradźwiękowych będzie sygnał audio w kształcie ich obwiedni.

Dokładne zdekodowanie sygnałów ultradźwiękowych wysyłanych przez nietoperze nie jest możliwe. Sygnały te zawierają informacje fazowe, składowe harmoniczne i kierunkowe, niemożliwe do wiernego przetworzenia na dźwięki słyszalne przez człowieka. Dodanie oscylatora dudnieniowego, umożliwiającego prostą detekcję iloczynową, zmienia nieco formę odbioru.

Szerokość pasma odbioru typowego radioodbiornika przenośnego wynosi około 8kHz. Charakterystyka ta, płaska w centrum, wolno opada poszerzając się do 15kHz, a nawet 20kHz. Zatem całe pasmo nietoperzowe 100kHz daje się pokryć w kilku krokach strojenia. Odbiór ułatwia szerokie pasmo częstotliwości wysyłanych przez nietoperze, dzięki czemu nawet przy częściowo odstrojonym odbiorniku przynajmniej część ich głosów będzie słyszalna.

Kompletny schemat przetwornika pasma nietoperzowego jest przedstawiony na rys.4. Wszystkie podzespoły, za wyjątkiem transduktora X1, wyłącznika i anteny ferrytowej są elementami do montażu powierzchniowego (SMD). Sygnały z transduktora ultradźwiękowego X1 są bardzo słabe, mieszczą się raczej w zakresie mikrowoltowym niż miliwoltowym. Niskoszumowy FET, TR1, tworzy stopień wejściowy o niskiej impedancji wyjściowej, z którego sygnał jest kierowany do biernego filtra górnoprzepustowego C1, R3, C1. Filtr ten tłumi sygnały poniżej 15kHz, ale jego zbocznie nie jest strome. Średnie i niskie częstotliwości pasma audio są silnie tłumione. Niska

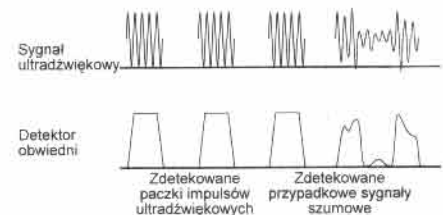
Tab.1. Nietoperze spotykane w Polsce			
gatunek	występowanie	długość [mm]	waga [g]
podkowiec mały	pogórze pld.	38-45	3-9
nocek duży	wszędzie (bez ptn-wsch)	67-80	27-40
nocek Bechsteina	rzadko	44-54	7-11
nocek Natterera	wszędzie	42-56	6-14
nocek orzęsiony	rzadko, pld.	41-53	6-9
nocek wąsatek	wszędzie	35-48	3-6,5
nocek Brandta	rzadko	39-50	4-7
nocek tydkowłosy	wszędzie	59-68	11-23
nocek rudy	wszędzie	43-60	6-12
mroczek posrebrzany	rzadko	47-64	11-16
mroczek pozłocisty	rzadko	45-64	8-13
mroczek późny	wszędzie	62-82	14-34
karlik małutki	wszędzie	32-49	3,5-9,2
karlik większy	wszędzie	46-56	6-9
borowiec olbrzymi	rzadko	84-104	41-76
borowiec wielki	wszędzie	60-85	17-42
borowiec Leisnera	rzadko	48-68	11-18
gacek wielkouch	wszędzie	38-53	6-12
gacek szary	pld. i centrum	42-54	6-14
mopek	wszędzie	45-58	6-13

czułość transduktora X1 w zakresie częstotliwości audio dodatkowo przyczynia się do obniżenia ich poziomu na wejściu mieszacza IC1. Pomimo tego słabe sygnały audio przedostają się do systemu, nie mają jednak wielkiego wpływu na jego działanie w zakresie ultradźwiękowym.

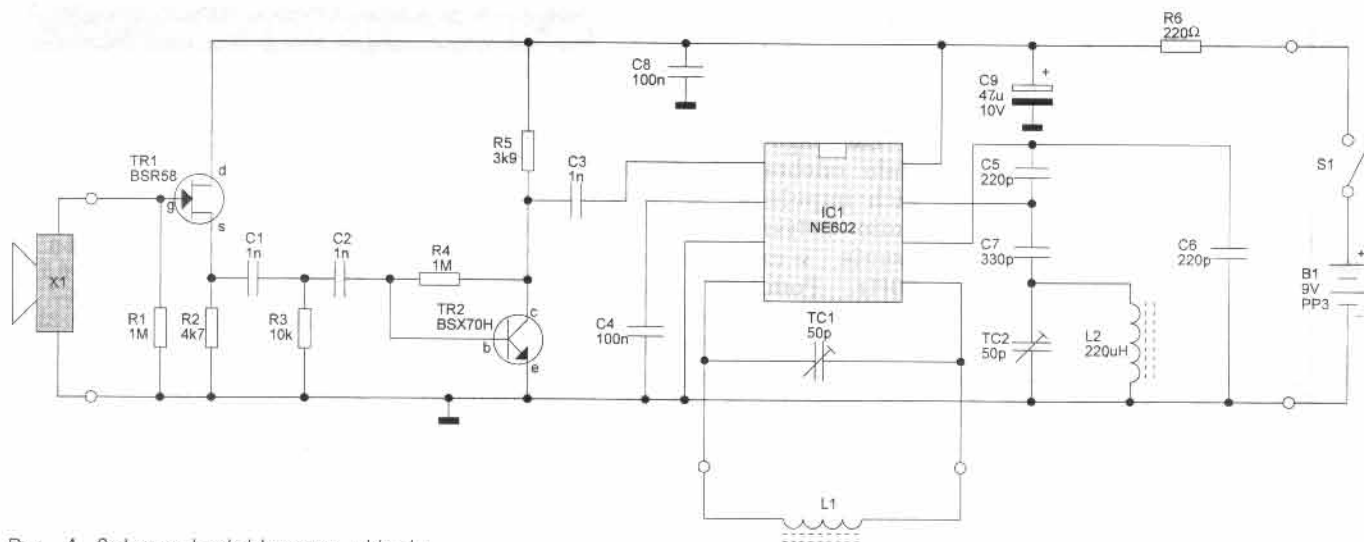
Po dostrojeniu odbiornika w pobliże częstotliwości lokalnego oscylatora 1MHz pojawi się słabe akustyczne dodatnie sprzężenie zwrotne (wzbudzenie). Pomaga to w dostrojeniu, ponieważ pozwala zidentyfikować dolną granicę pasma nietoperzowego.

Tranzystor TR2 jest wzmacniaczem niskoszumowym SMD typu BCX70H, a IC1 jest podwójnym mieszaczem symetrycznym, zespolonym z oscylatorem Colpittsa. Wejścia sygnału 1 i 2 zostały połączone w układ niesymetryczny przez odblokowanie wejścia 2 kondensatorem C4 do masy.

Elementy połączone z wejściami 6 i 7 IC2 tworzą obwód rezonansowy oscylatora Colpittsa. Zostały one dobrane do częstotliwości 1MHz. Zastosowano minia-



Rys. 3. Wynik detekcji obwiedni sygnału w.cz.



Rys. 4. Schemat elektryczny układu.

turowy dławik L2 typu SMD, dzięki czemu uniknięto konieczności nawijania cewki. Oscylator będzie więc działał od razu na właściwej częstotliwości. Trymer TC2 umożliwi drobne jej korekty w granicach 50kHz, co najmniej jeden z zakresów da się więc umieścić w stosunkowo cichym obszarze fal średnich w pobliżu 1MHz. Oscylator ten jest bardzo tolerancyjny i w razie potrzeby pozwala przez modyfikacje pojemności kondensatorów przesunąć odbierane pasmo w spokojniejsze miejsce.

IC1, typu NE602, pozwala swobodnie konfigurować wejścia i wyjścia. W niniejszym przetworniku wyjścia 4 i 5 zostały użyte do symetrycznego połączenia z równoległym obwodem rezonansowym, składającym się z cewki L1 i trymera TC1.

Cewka została nawinięta na krótkim pręcie ferrytowym, który działa jako antena nadawcza, wysyłająca do radioodbiornika sygnały powstałe w mieszaczu. Zadaniem trymera TC1 jest dostrojenie obwodu wyjściowego, ale krzywa strojenia jest tak płaska, że pozycja TC1 nie jest krytyczna.

Wiele trudu poświęcono zminimalizowaniu poboru prądu przez przetwornik. Z nowej baterii alkalicznej 9V pobiera on 4,6mA i działa gdy napięcie spadnie do 6V, a pobór do 3,7mA. Jeszcze przy napięciu zasilania 3,5V przetwornik daje się używać. Szeregowy rezystor R6 ogranicza napięcie zasilania do maksymalnego dla układu, 8V.

Bill Mooney, EwPE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją "Everyday with Practical Electronics".

Od tłumacza

Czytelników, chcących dowiedzieć się czegoś więcej o tych interesujących zwierzętach, lub pragnących przystąpić do ruchu chiropterologów - amatorów, zachęcamy do napisania lub za telefonowania do:

**Centrum Informacji
Chiropterologicznej
Instytut Systematyki
i Ewolucji Zwierząt PAN
ul. Sławkowska 17
31-016 Kraków
tel (012) 22 19 01,
lub 22 59 59**

lub sięgnięcia po literaturę w języku polskim:

1. "Jaki to nietoperz? polowy klucz do oznaczania nietoperzy krajowych." Bronisław Wołoszyn, Centrum Informacji Chiropterologicznej, Krakowskie Wydawnictwo Zoologiczne, Kraków 1991.
2. "Nietoperze", Adam Krzanowski, Wiedza Powszechna (W), Warszawa 1980.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

SMD, rozmiar 1206
R1, R4: 1MΩ (kod EIA 105)
R2: 4,7kΩ (kod EIA 472)
R3: 10kΩ (kod EIA 103)
R5: 3,9kΩ (kod EIA 392)
R6: 220Ω (kod EIA 221)

Kondensatory

SMD, rozmiar 1206
C1, C2, C3: 1nF, dielektryk COG, 50V
C4, C8: 100nF, dielektryk X7R, 50V
C5, C6: 220pF, dielektryk COG, 50V
C7: 330pF, dielektryk COG, 50V
C9: 47μF/10V, tantalowy SMD
TC1, TC2: 50pF, trymer SMD, otwarty lub szczelny

Półprzewodniki

TR1: BSR58 n-kanalowy niskoszumowy FET SMD w SOT23
TR2: BCX70H npn niskoszumowy SMD w SOT23
IC1: NE602AD mieszacz-oscylator SMD w SO8

Różne

L1: 470μH, 70 zwojów drutem Kynar φ0,3mm na pręcie ferrytowym φ6,5mm
L2: 220μH SMD, typu CM32 lub podobny
płytką drukowaną kod 984a/b (wraz z oscylatorem dudnieniowym)
obudowa plastikowa 75mm x 50mm x 25mm
odcinek przewodu ekranowego przewód Kynar φ0,3mm w izolacji bateria PP3 z zatrząskiem